

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

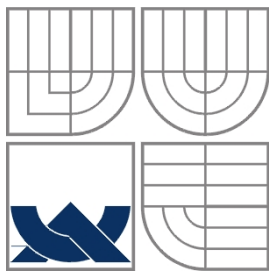
VIZUALIZACE POHYBU HLASIVEK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

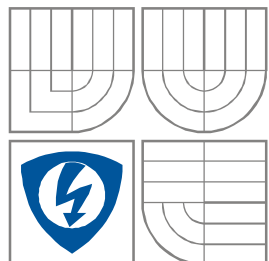
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LIBOR KUTÁLEK

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

VIZUALIZACE POHYBU HLASIVEK VISUALIZATION OF VOCAL CORDS MOVEMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

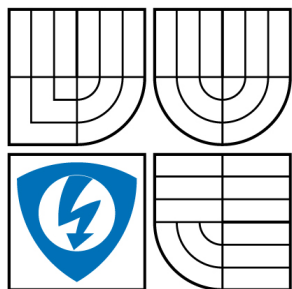
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Libor Kutálek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

BRNO, 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Elektronika a sdělovací technika

Student: Kutálek Libor

ID: 74893

Ročník: 3

Akademický rok: 2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Vizualizace pohybu hlasivek

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte fyziologii hlasového ústrojí člověka a zaměřte se na pohyb hlasivek při řeči. Seznamte se s metodami vizualizace pohybu hlasivek a proveďte systémový návrh zařízení pro objektivizaci klinického nálezu.

Propočtete obvodové prvky zařízení a stanovte základní technické parametry funkčních bloků systému.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HAHN, A. a kol. Otorinolaryngologie a foniatrie v současné praxi. Praha: Grada-Avicenum, 2007.

[2] Manuál zařízení fy ATMOS. Dostupné na WWW: <http://www.atmosmed.de>

Termín zadání: 11.2.2008

Termín odevzdání: 6.6.2008

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Libor Kutálek
Bytem: Kelč 80, Kelč, 756 43
Narozen/a (datum a místo): 22. září 1985 v Hranicích na Moravě

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☒ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Vizualizace pohybu hlasivek

Vedoucí/ školitel VŠKP: doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

Ústav: Ústav biomedicínského inženýrství

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 6. června 2008

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Abstrakt

Hlavním cílem této práce je ukázat jak funguje hlasové ústrojí člověka při řeči a jakým způsobem ho lze vyšetřit. Seznámíme se zde s metodami pro objektivizaci vyšetření hlasivek pomocí moderní videotechniky. V práci dále nalezneme principiální návrh stroboskopického zdroje světla, který by mohl být použit pro vyšetření hlasivek ve videolaryngostroboskopii. V další části práce je nastíněno experimentální ověření funkčních bloků, které by mohlo být užito pro vyšetření v praxi.

Klíčová slova: kmitání hlasivek, videolaryngostroboskopie, LED stroboskop

Abstract

The main object of these work is show how does vocal organism of a man work and how can we examine it. We are familiarized with methods for objectification of investigation glottis by the help of modern videotechnology. In this work we could found draft of stroboscopic source of light, which would be used for investigation glottis in videolaryngostroboscopy. In the following part of this work is shown experimental examination functional section, which would be used for investigation in practice.

Key words: oscillating of vocal cords, videolaryngostroboscopy, LED stroboscope

KUTÁLEK, L. Vizualizace pohybu hlasivek. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 35 s.
Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Vizualizace pohybu hlasivek jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury v závěru práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 6. června 2008

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Rozmanovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 6. června 2008

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod do problematiky	1
1.1	Poznatky z anatomie	2
1.2	Klinická vyšetření hrtanu a hlasivek	3
1.3	Přínos videotechniky pro klinická vyšetření	4
1.3.1	Vysokorychlostní videokamera	4
1.3.2	Videokymografie	4
1.3.3	Videolaryngostroboskopie	5
	Příklady moderních videostroboskopických systémů a jejich příslušenství	7
2	Systémový návrh zařízení	8
2.1	Principiální blokové schéma	8
2.2	Parametry funkčních bloků	8
2.2.1	Mikrofon	8
	Citlivost mikrofonu	8
	Impedance	9
	Elektrický šum mikrofonu	9
	Odstup signálu od šumu	9
	Celkový dynamický rozsah	9
	Frekvenční charakteristika	9
	Směrová charakteristika	9
	Technické parametry mikrofonu:	10
2.2.2	Horní propust	10
2.2.3	A/D převodník	11
	Základní vlastnosti A/D převodníku:	11
	Automatické režimy A/D převodníku	12
2.2.4	Mikrokontrolér MSP430	12
	Základní vlastnosti mikrokontroléru:	12
	CPU – jádro	13
	Instrukční sada	13
	Hodinový obvod	13
	Organizace paměti	13
2.2.5	Číslicové zpracování signálu	14
	Fourierova řada	14
	Fourierova transformace	15
	Fourierova transformace s diskrétním časem	15
	Diskrétní Fourierova řada	16
	Diskrétní Fourierova transformace	16
	Rychlá Fourierova transformace	17
2.2.6	LED	19
3	Experimentální ověření funkčních bloků	20
	Seznam součástí:	21
4	Závěr	24
	Literatura	25

Seznam obrázků

Obr. 1: Prostory hrtanu.....	2
Obr. 2: Hlasivky při fonaci	3
Obr. 3: Hlasivky při respiraci	4
Obr. 4: Zvětšovací laryngoskopie	3
Obr. 5: Přímá laryngoskopie	4
Obr. 6: Vysokorychlostní kamera firmy MotionBLITZ	4
Obr. 7: Videokymogramy	5
Obr. 8: Videokymografické vyšetření.....	5
Obr. 9: ATMOS Strobe 21 LED	6
Obr. 10: Vyšetření moderním videolaryngostroboskopem firmy KayPENTAX	6
Obr. 11: Pohled na hlasivky v časové oblasti.....	6
Obr. 12: Pohled na hlasivky ve dvou různých časových okamžicích	6
Obr. 13: Laryngoskop firmy Xion.....	7
Obr. 14: Videolaryngoskop firmy Xion	7
Obr. 15: Stolní dokumentační systém firmy ATMOS	7
Obr. 16: Principiální blokové schéma stroboskopu	8
Obr. 17: Elektretový mikrofon	11
Obr. 18: Graf závislosti mezní frekvence na hodnotě odporu CR článku.....	10
Obr. 19: Architektura mikrokontroléru MSP430	12
Obr. 20: Organizace paměti procesoru.....	13
Obr. 21: Postup výpočtu algoritmu DFT pro délku posloupnosti $N = 4$	18
Obr. 22: Grafická závislost počtu komplexních součinů na délce posloupnosti N [19]	18
Obr. 23: LED firmy Luxeon.....	19
Obr. 24: JTAG pro MSP 430	20
Obr. 25: Celkové schéma LED stroboskopu řízeného hlasem.....	21
Obr. 26: Zapojení obvodu na vývojové desce.....	22
Obr. 27: Schéma zapojení vývojové desky s mikrokontrolérem MSP 430	23

1 Úvod do problematiky

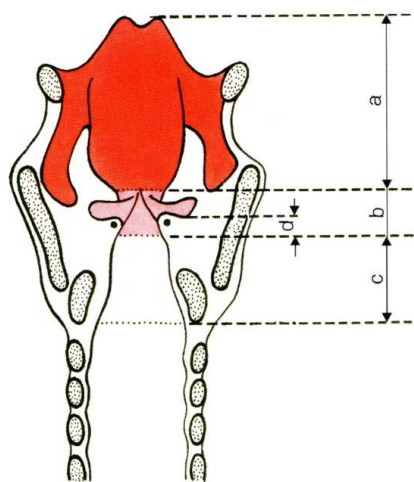
Lidský hlas hraje snad nejdůležitější roli ve vzájemné komunikaci. Z hlasu lze vycítit naši náladu, stáří či nemoc člověka. Hlasem můžeme okolí okouzlit, uklidnit, ale i popudit či postrašit. Hlas slouží jako běžný základ řeči, používáme ho každodenně a většina z nás ho vnímá jako samozřejmost. Důležitost hlasu si většinou uvědomíme až tehdy, když s ním nastanou problémy. Dnešní vyspělá technika a zobrazovací metody nám umožňují určit stav našeho hlasu a vyšetřit složitý orgán hlasu – hlasivky. Pohyb hlasivek je velmi důležitý pro tvorbu hlasu. Včasná a správná diagnostika onemocnění hlasivek dokáže zachránit nejeden z těchto nepostradatelných lidských orgánů. Proto se klade vysoký důraz na kvalitu a přesnost vyšetření. Dnešním nejmodernějším vyšetřovacím zařízením hlasivek je videolaryngostroboskopie, která využívá stroboskopického zdroje světla pro jejich osvětlení.

1.1 Poznatky z anatomie

Dýchání je činnost, která provádí výměnu plynů v plicích, a to jednak mezi vnějším vzduchem a krví (dýchání plicní), ale také mezi krví a tělesnými tkáněmi (dýchání tkáňové) [3]. V této práci nás bude zajímat pouze dýchání plicní a mechanismus dýchacích pohybů a užívání vydechovaného vzduchu pro tvoření hlasu a hlásek.

Hrtan (lat. larynx) je složité ústrojí sloužící k dýchání, uzávěru průdušnice a tvorbě hlasu. Embryologicky, anatomicky a funkčně je součástí dolních cest dýchacích [2]. Larynx se skládá z chrupavčité kostry spojené klouby, svaly a vazy a jeho nitro pokrývá sliznice. Závěs na jazylce a volné spojení hrtanu s okolím pomocí svaloviny a dolního svěrače hltanu umožňuje všestrannou pohyblivost ústrojí při polykání, fonaci a pohybech krku [3].

Kostra hrtanu je tvořena chrupavkami, z nichž tři jsou velké nepárové a tři menší párové. Základ tvoří prstěncitá (prstencová) chrupavka (lat. cartilago cricoidea), na níž je postavena chrupavka štítná (lat. cartilago thyreoidea) a do ní je vpředu vsazena chrupavka příklopky (lat. cartilago epiglottis). Z párových chrupavek jsou funkčně významné chrupavky hlasivkové, arytenoidní. Výběžky této chrupavky slouží k úponu svěračů, rozvěračů a napínačů hlasivek i samotného hlasového vazy (lat. ligamentum vocale). Nitro hrtanu má na předním řezu tvar přesýpacích hodin [2].

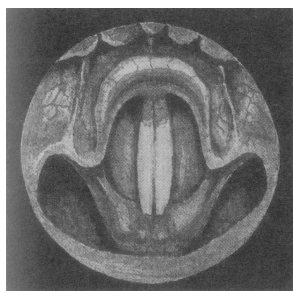


- a) prostor nad hlasivkami – supraglottis
- b) transglotický prostor
- c) prostor pod hlasivkami – infraglottis
- d) prostor v úrovni hlasivek – gtottis

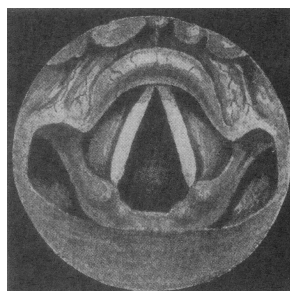
Obr. 1: Prostory hrtanu

V hrtanu jsou hlasivky (lat. plicae vocales) - orgán hlasu. Hlasivky jsou ovládány ve svých pohybech pěti svaly, které jsou označovány jako vnitřní hrtanové svaly. Jsou to příčně pruhované svaly, jejichž motorické jednotky patří mezi nejmenší v těle.

Tyto svaly jsou rozděleny celkem do tří funkčních celků. První z nich je rozvěrač (lat. abductor), tedy sval, který otevírá dýchací štěrbinu tak, aby byl dostatečný přístup vdechovaného vzduchu do plic. Tento sval je jen jediný. Ostatní svalové skupiny a to svěrače (lat. adductores) a napínače (lat. tensores), jsou párové. Hrtanové svaly se dále podílí na funkci respirační (rozvěrač), hlasotvornou (všechny skupiny) a uzavírací obrannou (svěrače a napínače) [3],[5].



Obr. 2: Hlasivky při fonaci



Obr. 3: Hlasivky při respiraci

Respirační postavení hlasivek je aktivní děj, který je projevem funkce rozvěrače. Při jednostranném omezení funkce tohoto svalu se objevuje zhoršení dýchání především při námaze. Při oboustranné poruše se projevuje nejen závažná porucha hlasu (dysfonie) a později afonie, ale především pokles saturace kyslíkem. Tyto stavy vyžadují okamžitý zákrok (tracheotomii apod.).

Při volném dýchání (respiraci) hlasivky vytvářejí spolu se zadní komisurou trojhran, kterým proudí vzduch. Tento trojhran má u mužů plochu asi $1,4 \text{ cm}^2$ a u žen $0,8 \text{ cm}^2$. Tyto rozměry limitují ventilační kapacitu, která může dosáhnout u mužů až 170 l/min . Podstatně menší ventilační kapacita u žen je mj. dávana do souvislosti s nižší vytrvalostní fyzickou výkonností [1],[2],[3],[5].

1.2 Klinická vyšetření hrtanu a hlasivek

Mezi základní vyšetření hrtanu patří nepřímá laryngoskopie. Používá se u ní laryngoskopické zrcátko, které se vloží na zadní stěnu hrtanu. To pak vrhá světlo do nitra hrtanu a zpět vede obraz do oka vyšetřujícího. Vyšetřovaný sedí mírně zakloněn čelně k lékaři.

Laryngoskopie zvětšovací je obdobná technika, ale používá místo zrcátka rigidní zvětšovací laryngoskop s pohledem v úhlu 90° směrem dolů. Má výhodu v přiblížení a provedení dokumentace.

Přímá, neboli direktní laryngoskopie, je běžnou vyšetřovací metodou hrtanu, která se provádí v celkové anestezii. Výhodou metody je prostorové vidění a uvolnění obou rukou pro chirurgické a diagnostické úkony (odběr vzorků tkáně, odstranění cizích těles, malých nádorů, hlasových uzlíků apod.). Přitom se používá operační mikroskop s fokusem 400mm nebo endoskopických optik. Lékař sedí za hlavou pacienta, proto je obraz stranově obrácený na rozdíl od postupů při nepřímé laryngoskopii. Moderní mikroskopy umožňují připojení laseru. [1]



Obr. 4: Zvětšovací laryngoskopie



Obr. 5: Přímá laryngoskopie

1.3 Přínos videotechniky pro klinická vyšetření

1.3.1 Vysokorychlostní videokamera

Vysokorychlostní videokamera (High Speed Video System, HSV) je dostupná jako příslušenství videolaryngostroboskopie nebo jako samostatný systém. HSV má široké spektrum využití. Záznam pořízený touto kamerou se obecně používá pro archivaci velmi rychlých dějů, například crash testů automobilů, testů zbraní, předcházení zranění ve sportu a podobně.

HSV byla objevena a vyvíjena po mnoho let, protože umožňovala zachytit pohyb, který nebyl ostatními zobrazovacími technologiemi viditelný. V minulosti přinášela prospěch jen u 10% pacientů, neboť dřívější verze byly klinicky nepraktické a to hned z mnoha důvodů (velikost, cena, technologie apod.). Dnes je tato speciální kamera schopna zaznamenat až 16 000 snímků za sekundu v rozlišení 1280x32 pixelů. Při 500 snímcích za sekundu se rozlišení vyšplhá až k rozlišení 1280x1024 pixelů. Kamera je opatřena vlastní rychlou videopamětí pohybující se v rozmezí 512 MB až 3 GB. Délka záznamu se pohybuje v řádu jednotek až desítek sekund v závislosti na rozlišení a rychlosti snímků za sekundu. Použití HSV v běžné laryngoskopické praxi není tak časté, ale dokáže zobrazit dynamiku hlasivek, která může odhalit onemocnění v jejich raném stádiu a předejít tak pozdějším komplikacím.



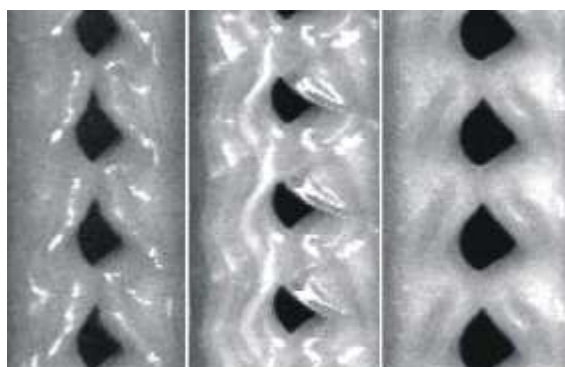
Obr. 6: Vysokorychlostní kamera firmy MotionBLITZ

1.3.2 Videokymografie

Videokymografie (Videokymography System, VKG) je původní česko-nizozemská metoda pro optické zaznamenávání mechanických kmitů, která byla vyvinuta zejména za účelem zkvalitnění diagnostiky kmitů hlasivek ve foniatrii a laryngologii. Základem systému je speciálně upravená CCD videokamera, která je schopna pracovat dvěma různými způsoby - standardně (50 snímků/s) nebo vysokofrekvenčně (7 812.5 řádkových snímků/s) [12]. Ve vysokofrekvenčním modu systém registruje snímky pouze z jednoho vybraného horizontálního řádku kamery a skládá je za sebe.

Při vyšetřování hlasivek se nejprve používá klasický mód kamery (50 snímků za sekundu) pro nalezení vhodné pozice hlasivek a následně se nožním pedálem přepne do vysokorychlostního módu. Kamera potom snímá 7 812.5 snímků za sekundu a pořizuje záznam. Z něho lze vyčíst stav hlasivek a určit diagnózu.

Výhodou této metody je menší pořizovací cena oproti vysokorychlostní kameře a záznam na klasická média (VHS, HDD, apod.). Není proto nutné používat speciální rychlé paměti jako u HSV. Obraz však není tak zcela intuitivní jako u HSV. Tato metoda je vhodná jako pomocné vyšetření u videolaryngostroboskopie, dnešní nejpoužívanější metody.



Obr. 7: Videokymogramy



Obr. 8: Videokymografické vyšetření

1.3.3 Videolaryngostroboskopie

Videolaryngostroboskopie (Digital Video Stroboscopy System) je pokročilá laryngeální obrazová metoda, která digitálně zaznamenává stroboskopická a ostatní endoskopická vyšetření. Tato metoda, určená pro otorinolaryngology a foniatry, se stala v době svého uvedení (konec 90.let) součástí moderních ORL klinik a poskytuje dnes nejlepší zobrazovací techniku pro vyšetření hrtanu.

Při laryngoskopii a endoskopii používáme jako zdroje k osvětlení nitra hrtanu normální, tzv. pevné světlo, takže nemůžeme sledovat kmitání hlasivek při fonaci. Principem stroboskopie je, že kmitající předmět, v našem případě hlasivky, není osvětlován pevným světlem, ale zdrojem světla, které také kmitá. Jako zdroj světla se používají xenonové, halogenové a LED výbojky. Mnoho stroboskopických zdrojů světla mění jas díky pohybu hlasivek a tím pádem se snižuje kvalita obrazu. Tento efekt se může měnit s amplitudou a s frekvencí, avšak moderní přístroje umí tento jev eliminovat a poskytují obraz bez blikání. Součástí videolaryngostroboskopu je speciální CCD kamera s vysokým rozlišením a vysokou světelnou citlivostí. Kvalita obrazu je na mnohem vyšší úrovni (barevný obraz, vyšší rozlišení) oproti HSV nebo VKG.



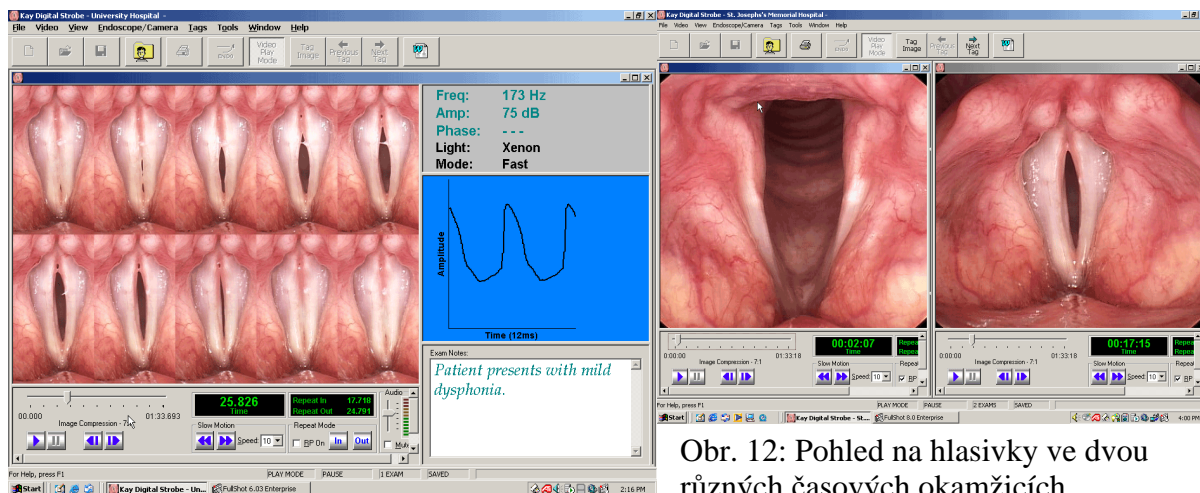
Obr. 9: ATMOS Strobo 21 LED



Obr. 10: Vyšetření moderním videolaryngostroboskopem firmy KayPENTAX

Videolaryngostroboskopie umožňuje zachycení kmitání hlasivek v závislosti na vydávaném zvuku. Při synchronizaci světelných záblesků s kmity pozorovaného předmětu dopadá světlo na předmět vždy ve stejné fázi kmitu a předmět se jeví ve zdánlivém klidu. V případě, že se frekvence záblesků světla a kmitů hlasivek nepatrně liší, pak jsou osvětleny vždy v jiné fázi kmitu a tím dojde ke zdánlivému zpomalení pohybu kmitajících hlasivek. Ty můžeme dobře pozorovat a v průběhu fonace zjišťovat, v jakém jsou stavu. Jestli se nedomykají, či domykají, zda je hlas tvořen správnou technikou, nebo jestli dochází k poškození hlasivek, k omezení, a nebo ztrátě schopnosti kmitání hlasivky.

Pro pacienty je toto vyšetření časově náročnější a některé proto může trápit dávivý reflex. Nevýhodou stroboskopie je, že neumožňuje přesně objektivně vyhodnotit nepravidelné kmitání hlasivek u nejzávažnějších poruch hlasu. V dnešní době je však tato metoda na samé špičce vyšetřovacích metod co se kvality obrazu týče. Většina moderních stanic umožňuje mimo zaznamenání obrazu také záznam zvuku při fonaci integrovaným mikrofonom pro další analýzu.



Obr. 11: Pohled na hlasivky v časové oblasti

Obr. 12: Pohled na hlasivky ve dvou různých časových okamžicích

Příklady moderních videostroboskopických systémů a jejich příslušenství

Laryngoskop firmy Xion

Charakteristické rysy a výhody:

- optimální ovládání díky ostricímu prstenci
- hloubkové osvětlení vhodné pro užití ve stroboskopii
- odpojitelné světlovedné kabely
- okulárová hlavice a tubus z nerezové oceli



Obr. 13: Laryngoskop firmy Xion

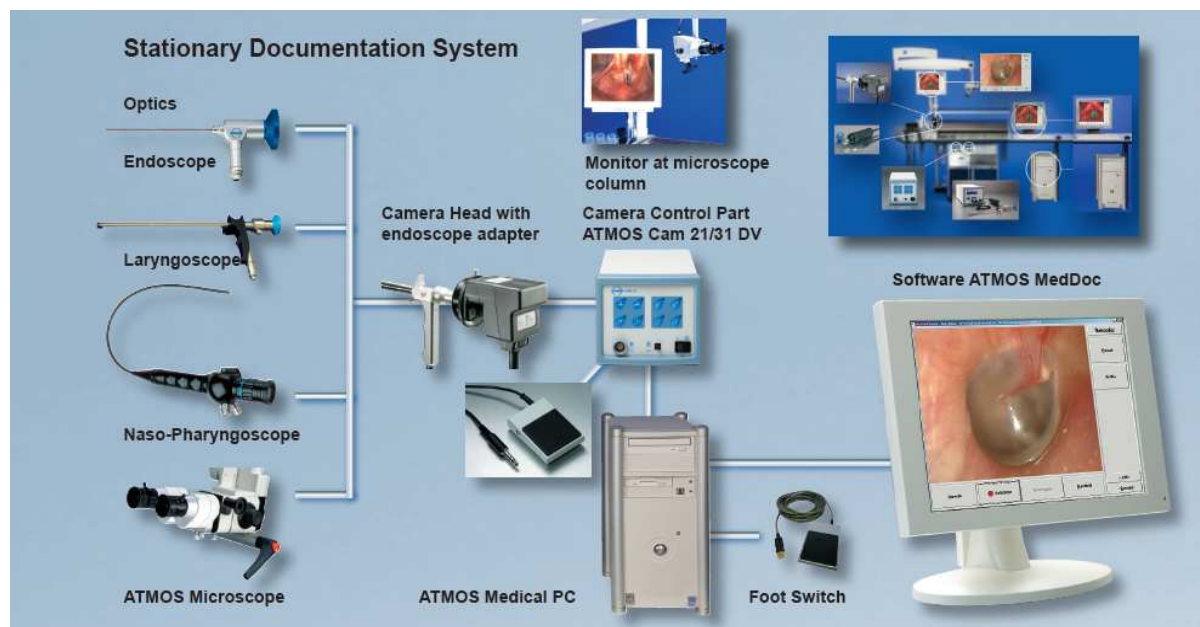
Videolaryngoskop firmy Xion

Charakteristické rysy a výhody:

- CCD senzor s vysokou rozlišovací schopností
- vysoká světelná citlivost
- obraz lze zvětšit na celý monitor
- pevná pozice mikrofonu
- tlačítko pro spouštění uloženého záznamu a pro ovládání nahrávání
- světlovedný kabel, video a audio kabely jsou sloučeny v jedinou flexibilní trubici
- usnadňuje ovládání a minimalizuje nepohodlí pacienta



Obr. 14: Videolaryngoskop firmy Xion



Obr. 15: Stolní dokumentační systém firmy ATMOS

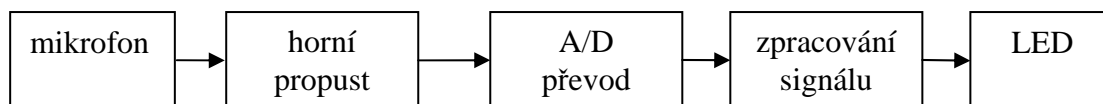
2 Systémový návrh zařízení

Stroboskopický efekt využívá optického klamu, který je založen na setrvačnosti našeho zrakového orgánu. Rychlé periodické pohyby lze zviditelnit, pokud jednotlivé fáze těchto pohybů krátce osvětlíme bleskem. Trvání záblesku přitom musí být menší k poměru trvání periody. Pokud přesně souhlasí kmitočet záblesků s kmitočtem kmitání, bude vždy stejně osvětlena tatáž fáze kmitání, a proto se nám rychle kmitající se objekty jeví jako zastavené. Pokud je kmitočet záblesků fázově posunutý oproti kmitočtu kmitání hlasivek, pak nebudou osvětlovány vždy stejná místa, ale bezprostředně místa sousední. Potom vidíme zpomalený průběh kmitání a jeví se nám jako kontinuální obraz.

Frekvence kultivovaného lidského hlasu se nachází v rozmezí 85-1400 Hz. Běžné stroboskopy osvětlují hlasivky s frekvencí 70-1000 Hz. Při frekvenci vyšší než 500 Hz se ale osvětluje každý druhý zákmit hlasivek. Většina zařízení také používá xenonových výbojek. Cílem této práce je navrhnout stroboskop, který bude používat levnější a energeticky méně náročnou vysoce svítivou LED namísto xenonové výbojky.

2.1 Principiální blokové schéma

Pro realizaci stroboskopického zdroje světla bude použito následující schéma. Mikrofonem bude snímán vstupní signál (pacientův hlas). Ten bude dále frekvenčně omezen horní propustí pro odfiltrování nízkých kmitočtů. Poté dojde k navzorkování a převodu signálu do frekvenční oblasti pomocí FFT. Pomocí výpočetní techniky bude signál v reálném čase vyhodnocován a bude řídit záblesky LED.



Obr. 16: Principiální blokové schéma stroboskopu

2.2 Parametry funkčních bloků

2.2.1 Mikrofon

Mikrofon je zařízení, které přeměňuje akustický signál na signál elektrický. Zvuk vzniká střídavou změnou tlaku vzduchu, který se periodicky zředňuje a zhušťuje, vzniká tak zvuková vlna. Mikrofonů je mnoho druhů a lze je dělit dle různých vlastností. Některé důležité elektrické vlastnosti mikrofonů jsou uvedeny níže.

Citlivost mikrofону

Mikrofon pomocí akustického tlaku indukuje elektrický signál. Systém měření citlivosti mikrofону spočívá v umístění mikrofonu v akustickém poli o konstantní úrovni

akustického tlaku 1 Pascal (10 mikrobarů), přičemž se měří výstupní napětí mikrofону (*SPL* = *Sound Pressure Level* = úroveň akustického tlaku). Čím vyšší je citlivost mikrofону, tím je lepší odstup užitečného signálu od šumu, protože při vyšším signálu z mikrofону jej není zapotřebí dodatečně tolik zesilovat.

Impedance

Jedná se o elektrickou impedanci, změřenou na výstupních svorkách mikrofону. Je kmitočtově závislá a většinou se udává pro kmitočet 1 kHz. Pro optimální přizpůsobení mikrofону k zesilovači by měla být vstupní impedance zesilovače 5-10x větší než impedance mikrofону. Zatížení mikrofonu příliš malou vstupní impedancí se projeví zkreslením kmitočtové charakteristiky a snížením poměru signál/šum.

Elektrický šum mikrofону

Tento údaj, většinou označovaný jako ekvivalent *SPL*, označuje úroveň zvuku, který by musel dokonalý bezšumový mikrofón snímat, aby měl na výstupu stejnou úroveň, jako má uvažovaný mikrofón v klidu v dokonale zatlumené místnosti. Jedná se o šum, který mikrofón sám o sobě indukuje vinou jeho konstrukce a elektrických součástek.

Odstup signálu od šumu

Je to rozdíl zpracovaného akustického tlaku a elektrického šumu. Z toho vyplývá, že s poklesem akustického tlaku (tišší zvuky) se odstup zhoršuje, proto je vhodné nejtišší zvuky snímat na nejcitlivější mikrofóny, které jsou k dispozici. Při měření šumových vlastností se často setkáváme s různými metodami, které kompenzují rozdíly v citlivosti ucha při různých frekvencích.

Celkový dynamický rozsah

Vypočítáme jej jako rozdíl max. akustického tlaku a elektrického šumu. Jde vlastně o odstup maximálního (relativně nezkresleného) signálu od šumu u daného mikrofónu.

Frekvenční charakteristika

Udává odezvu mikrofónu na frekvence v celém spektru, které je schopen sejmout při konstantním akustickém tlaku. Měla by mít nezvlněnou charakteristiku v pásmu slyšitelnosti, tj. 16 Hz – 16 kHz

Směrová charakteristika

Udává, jak mikrofón reaguje na zvuky z různých směrů o stejné intenzitě. Obvykle se měří pro více frekvencí. Máme různé typy charakteristik – kulová, ledvinová, kuželová, osmičková, superledvinová a další.

Pro realizaci bude použit elektretový mikrofón, který je typem kondenzátorového mikrofónu. Elektrický signál zde vzniká pohybem vodivé membrány v elektrickém poli (nikoliv magnetickém). Jedna elektroda je opatřena vrstvou elektretu, což je materiál, který nese permanentní elektrický náboj, a proto zde není potřeba zdroj polarizačního napětí. Výstupní impedance je velmi vysoká, proto bývá součástí mikrofónu impedanční převodník s FET tranzistorem, který funguje také jako předzesilovač. Pro tento tranzistor je však nutno připojit napájecí napětí, jehož velikost se liší podle typu mikrofónu. Mikrofón se vyznačuje kompaktními rozměry, velkou citlivostí a dobrými akustickými vlastnostmi, které jsou vhodné pro záznam hlasu. Běžně se používá v mobilních telefonech a je vhodný pro připojení ke zvukovým kartám v PC.

Technické parametry mikrofonu:

Frekvenční rozsah	20-16 000 Hz
Citlivost	5.6 mV/Pa/1 kHz, ±4 dB
Výstupní impedance	2 kΩ, RL: 2.2 kΩ
Odstup signál/šum	> 58 dB
Vazebná kapacita	33 pF
Provozní teplota	0-40 °C
Napájení	2-10 V, 0.5 mA, DC



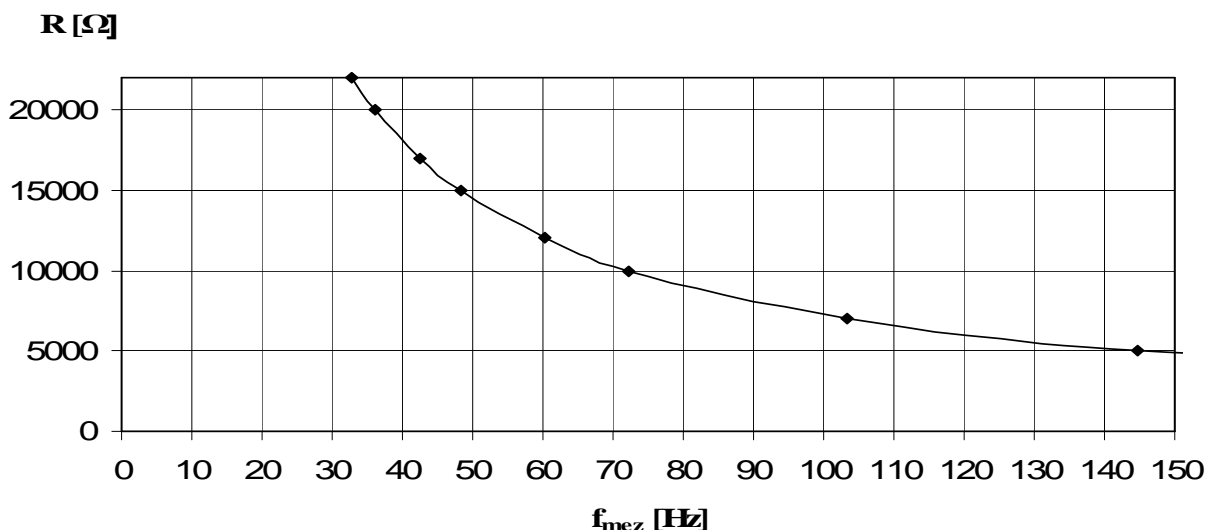
Obr. 17: Elektretový mikrofon

2.2.2 Horní propust

Horní propust je kmitočtový filtr, který se používá pro potlačení nízkých kmitočtů signálu. Signál o nízké frekvenci zde představuje neužitečný šum, a proto je vhodné jej eliminovat již před začátkem číslicového zpracování. Horní propust může být realizována jako pasivní CR člunek, kde lze mezní kmitočet spočítat dle vztahu:

$$f_{mez} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.1)$$

Mezní kmitočet je možné měnit dle potřeby potenciometrem nebo trimrem, kdy pro kapacitu můžeme zvolit kondenzátor 220 nF. Pak potenciometr nebo trimer o rozsahu 0-22 kΩ ladí mezní kmitočet dle grafu níže.



Obr.18: Graf závislosti mezní frekvence na hodnotě odporu CR člunku

Tímto způsobem se využije ¾ rozsahu potenciometru pro dostatečně jemné nastavení mezního kmitočtu. Je dobré si však uvědomit, že člunek nedosahuje takové strmosti jako aktivní CR filtry, ale pro odstranění „brumů“ na nízkých kmitočtech je však dostatečný.

2.2.3 A/D převodník

A/D převodník slouží k převedení analogového signálu na digitální. Pracuje na principu vzorkovače, který ze spojitého signálu tvoří signál diskretní. Při vzorkování musí být splněna podmínka omezení kmitočtového spektra vstupního signálu a dodržení vzorkovacího teorému (Snannonův teorém, Kotelníkův teorém, Whittakerův teorém i jinak):

$$f_s \geq 2 \cdot f_{MAX}, \quad (2.2)$$

kde f_{MAX} je nejvyšší frekvenční složka vstupního signálu a f_s je vzorkovací kmitočet. Při nedodržení těchto dvou podmínek nastává nežádoucí efekt aliasing, který má za následek překrytí spekter a následnou ztrátu informace.

Pro určitou hodnotu vstupního signálu musí převodník najít nejbližší kvantovací úroveň a prezentovat ji na výstupu její číselnou podobou. N-bitový převodník má 2^n kvantovacích úrovní. Nepřesnost, které se dopouštíme zaokrouhlení hodnoty k určité kvantovací hladině, nazýváme kvantovací šum. Maximální velikost je dána polovinou rozdílu dvou sousedních kvantovacích hladin. Tento rozdíl odpovídá nejméně významné bitové pozici LSB (*Least Significant Bit*), což odpovídá nejmenšímu kroku při číslicovém zobrazení signálu. Dynamický rozsah ideálního převodníku je obecně definován pouze počtem vstupních bitů n a platí pro něj vztah:

$$DR = 6,02 \cdot n + 1,76 \quad (2.3)$$

Dynamický rozsah představuje maximální dosažitelný poměr signál/šum S/N při plném využití výstupního rozsahu převodníku, tj. vstupní signál je zesílen na maximální úroveň, při níž nedochází k jeho limitaci převodníkem.

Pro návrh bude použit A/D převodník, který je již integrován v mikrokontroléru firmy Texas Instrument MSP 430.

Základní vlastnosti A/D převodníku:

- sample-and-hold převodník s konfigurovatelným časováním vzorkování
- rychlost vzorkování lepší než 200 ksps (kilo sample per second)
- spouštění převodu programem, externím signálem nebo časovačem
- interní nebo externí referenční zdroj
- 8 externích a 4 interní analogové vstupy
- variabilní zdroj hodin
- automatické módy konverze přes více kanálů s případným opakováním

Jako zdroj hodinového signálu je možné použít ACLK, MCLK, SMCLK nebo interní oscilátor (přibližně 5 MHz). Hodinový signál může být dělen hodnotou 1 až 8. Proces konverze může být spuštěn externím signálem nebo výstupem z časovače. Aktivní hrana spouštěcího signálu je konfigurovatelná (náběžná nebo sestupná). Doba vzorkování je řízena interním čítačem (pulzní mód) nebo přímo (prodloužený mód). V pulzním módu spouštěcí signál pouze spustí proces vzorkování, po vypršení předdefinovaného času začne převod. V prodlouženém módu se aktivací předdefinovaného času zahájí vzorkování a jeho ukončením se spustí převod.

Automatické režimy A/D převodníku

- jeden kanál – převodník konvertuje jeden vzorek a uloží jej do vyrovnávací paměti
- více kanálů – automaticky konvertuje více kanálů a výsledky uloží do více registrů vyrovnávací paměti
- opakovaný jeden kanál – opakovaně konvertuje vzorek z jednoho kanálu a ukládá ji do vyrovnávací paměti; výsledek je třeba vyčíslit dříve, než se dokončí další převod
- opakování více kanálů – opakovaně konvertuje více kanálů, výsledky je třeba vyčíslit dříve než se do registru zapíše další konvertovaná hodnota

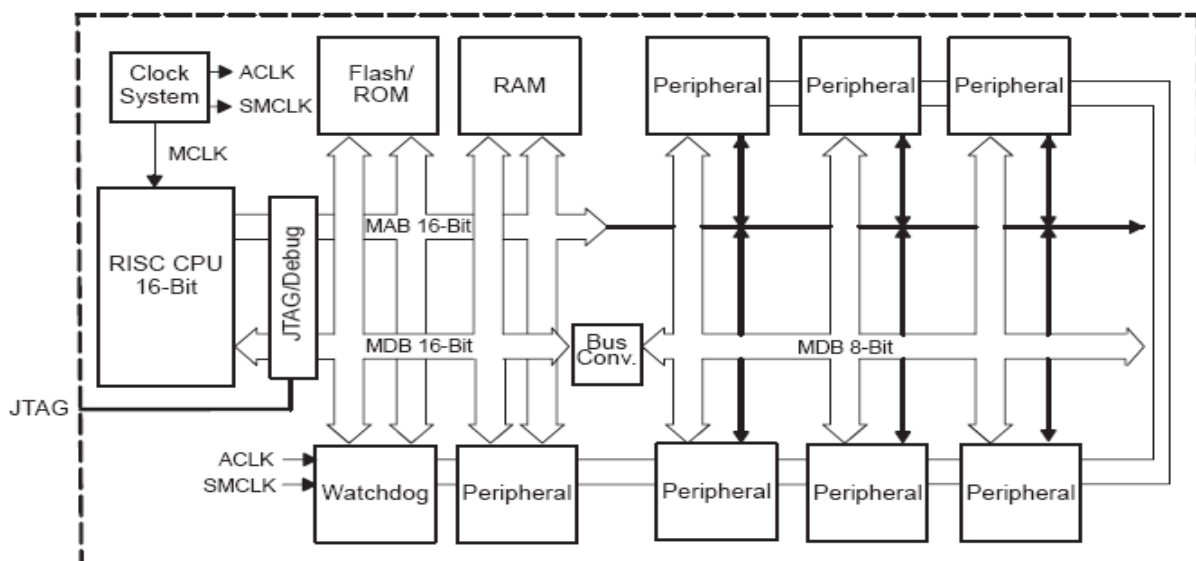
Ukončení konverze vyvolá přerušení. Díky ochranným přerušením neztratíme žádný vzorek.

2.2.4 Mikrokontrolér MSP430

Tento mikroprocesor je založen na principu von-Neumanovy architektury. To znamená, že má jednu paměť pro program a data. Je to 16-bitový RISC procesor od firmy Texas Instrument.

Základní vlastnosti mikrokontroléru:

- 16-bitová architektura, 16 16-bitových registrů, z toho 12 všeobecně použitelných
- 125 ns instrukční cyklus (při 8 MHz/3,6 V)
- napájení 1,8 až 3,6 V
- nízká spotřeba
- 12-bit A/D a D/A převodník
- komparátor
- časovač s porovnávacími vstupy pro měření odporových prvků
- digitální vstupy a výstupy
- watchdog timer



Obr.19 : Architektura mikrokontroléru MSP430

CPU – jádro

Jádro obsahuje 16 registrů, které umožňují zkrátit instrukční výpočetní čas.

Čtyři registry (R0 až R3) jsou určeny jako

- programový čítač (program counter)
- ukazatel zásobníku (Stack pointer)
- status registr
- generátor konstant

Při načítání z generátoru konstant získáme některou z předdefinovaných konstant, jejich hodnota závisí na adresovém módu. Tyto konstanty nemusí být uloženy v paměti programu a proto šetří paměť. Zbytek registrů je pro všeobecné využití.

Instrukční sada

Instrukční sada se skládá z 27 základních instrukcí a 24 emulovaných instrukcí. Základní instrukce jsou takové, že mají svůj vlastní OP-kód dekódovaný CPU. Emulované instrukce jsou takové, že usnadňují psát a číst program a nemají svůj OP-kód. Místo toho jsou assemblerem nahrazeny za základní instrukce bez ztráty výpočetní rychlosti.

Hodinový obvod

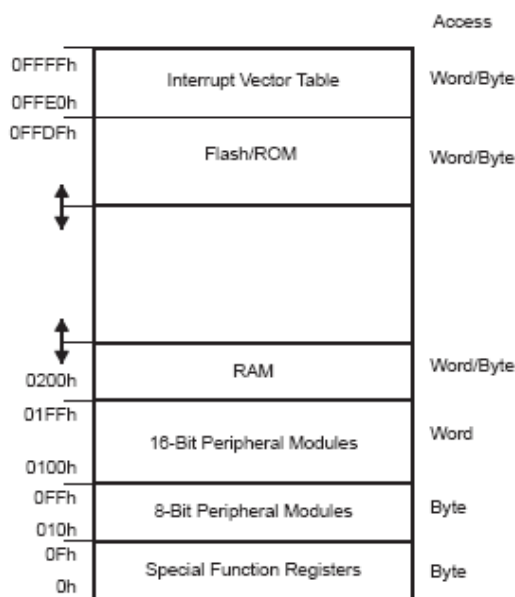
Tento procesor umožňuje vypnout nebo uspat své jednotlivé části a k tomu má k dispozici několik hodinových signálů.

- ACLK (=Auxiliary clock) – vnější hodiny
- MCLK (=Master clock) – hlavní hodiny
- SMCLK (=Sub-main clock) – vedlejší hodiny

Uvedením procesoru do jednotlivých úsporných módů lze účinně šetřit energií.

Organizace paměti

Program a data mají společnou paměť. Paměť programu končí vždy na nejvyšší adrese (0FFFFh) a paměť RAM začíná na adrese 0200h. Začátek adresy FLASH/ROM závisí na modelové řadě.



Obr. 20: Organizace paměti procesoru

2.2.5 Číslicové zpracování signálu

Pokud se rozhodneme zpracovávat nějaký složitější signál, tak to není nijak triviální záležitost. Důležité je ho matematicky popsat a definovat. Ke zkoumání signálů se často používají Fourierovy řady a Fourierovy transformace. Pokusíme se zde vysvětlit elementární metody zpracování signálu a k tomu je nezbytné pochopit základní principy.

Využívá se toho, že se zkoumaný signál převede do tzv. Fourierovy řady. Ta využívá rozvoje do trigonometrických řad, tj. do sinů a kosinů na takovém intervalu, který pokrývá právě jednu periodu zkoumané funkce. Základní úvahou je omezení funkce na periodou $[-\pi, \pi]$. Je to dáno tím, že jakoukoli periodickou funkci lze vhodně transformací upravit tak, aby se její perioda přepsala právě na interval $[-\pi, \pi]$, přičemž vlastnosti funkce se nijak nezmění. Fourierova transformace je obecnější v tom smyslu, že ji lze použít ke zkoumání i funkcí neperiodických. Zavádíme zde jisté doplnění, že funkce neperiodická je limitní případ funkce periodické a její perioda vzrůstá nade všechny meze.

Fourierova řada

Uvažujme funkci $f(x)$ a řekněme, že je periodická s periodou T , jestliže platí $f(x+T) = f(x)$ a je definována na intervalu $-\pi \leq x \leq \pi$, která na němž splňuje podmínku

$$\int_{-\pi}^{\pi} |f(x)|^2 dx < +\infty. \quad (2.4)$$

Pak tuto funkci rozvineme v tzv. trigonometrickou řadu, která obsahuje goniometrické funkce

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos kx + b_k \sin kx), \quad (2.5)$$

kde koeficienty určíme ze vztahů

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx \quad a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos kx dx \quad b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin kx dx, \quad (2.6)$$

pro $k = 1, 2, \dots$ kde $x \in R$.

A nebo lze funkci přepsat s využitím Eulerova vzorce do exponenciálního tvaru

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \exp(-jnx), \quad (2.7)$$

kde koeficienty určíme ze vztahů

$$c_0 = \frac{a_0}{2} \quad c_n = \frac{1}{2}(a_n - jb_n) \quad c_{-n} = \frac{1}{2}(a_n + jb_n) = c_n^* \quad (2.8)$$

pro $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ kde $c \in C$.

Využitím této řady je spektrální analýza spojitého periodického signálu, kde její koeficienty představují diskrétní spektrum. Dále se používá pro návrh číslicových filtrů typu FIR (filtry s konečnou impulsní charakteristikou), kde koeficienty Fourierovy řady (FR) reprezentují vzorky impulsní charakteristiky.

Fourierova transformace

Fourierova transformace (FT) rozšiřuje FR i na neperiodické funkce (spojité i diskrétní). Položíme $\omega T = 2\pi$, kde T je perioda a ω je reálné číslo. Nechť je funkce $f(t)$ absolutně integrovatelná, pak relace

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \exp(-j\omega t) dt \quad (2.9)$$

a

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) \exp(j\omega t) d\omega \quad (2.10)$$

nazýváme postupně *přímou a zpětnou Fourierovou transformací*. Funkce $f(t)$ je *předmětem* a funkce $F(\omega)$ *obrazem* Fourierovy transformace. Obě funkce jsou komplexní funkce reálné proměnné. Fourierovu transformaci symbolicky označujeme $f(t) \leftrightarrow F(\omega)$ nebo $F(\omega) \leftrightarrow F\{f(t)\}$ [18].

Fourierovu transformaci využíváme pro spektrální analýzu spojitého, periodického i neperiodického signálu, pro výpočet frekvenční charakteristiky lineárního spojitého systému a díky konvoluční vlastnosti lze FT použít pro výpočet odezvy lineárního spojitého systému na vstupní signál.

Fourierova transformace s diskrétním časem

Fourierova řada a Fourierova transformace se natolik staly populární, že byla snaha o jejich rozšíření i na signály diskrétní. Fourierovu transformaci signálu s diskrétním časem (direct-time Fourier transform, DTFT) definujeme obdobným vztahem

$$\tilde{S}(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(n) \exp(-j\omega n) \quad (2.11)$$

Funkce $\tilde{S}(e^{j\omega})$ je vůči proměnné periodická s periodou 2π .

Inverzní transformace DTFT^{-1} se počítá přes periodu spektra pomocí integrálu

$$s(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{S}(e^{j\omega}) \exp(j\omega n) d\omega \quad (2.12)$$

Využití DTFT je pro výpočet spojitě frekvenční charakteristiky lineárního diskrétního systému.

Diskrétní Fourierova řada

Diskrétní Fourierova řada (DFŘ) je obdobou Fourierovy řady a rozšiřuje ji na diskrétní signály. DFŘ přiřazuje periodické posloupnosti $\{\tilde{s}(n)\}$ s periodou N obraz $\{\tilde{S}(k)\}$, periodickou posloupnost s periodou N

$$\tilde{S}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \tilde{s}(n) \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} kn\right), \quad (2.14)$$

kde vlnovkou je naznačena periodicitá.

Zpětnou DFŘ přiřazujeme periodické posloupnosti $\{\tilde{S}(k)\}$ původní posloupnost $\{\tilde{s}(n)\}$

$$\tilde{s}(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{S}(k) \exp\left(j \frac{2\pi}{N} kn\right). \quad (2.15)$$

Prvky $\tilde{S}(k)$ jsou komplexní čísla a prvky spektra posloupnosti $\{\tilde{s}(n)\}$, kde k je pořadové číslo spektrální složky. Normovaný kmitočet, který náleží k této složce vypočteme dle vztahu

$$\omega_k = \frac{2\pi}{N} k. \quad (2.16)$$

Diskrétní Fourierova transformace

Diskrétní Fourierova transformace (discrete Fourier transform, DFT) umožňuje ze známého matematického vyjádření signálu či spektra vypočítat signál ze vzorků spektra či spektrum ze vzorku signálů.

DFT přiřazuje posloupnosti délky N na jinou posloupnost délky N . Originál označíme $\{s(n)\}$, obraz $\{S(k)\}$. Takže výpočet obrazu posloupnosti vypočítáme dle vztahu

$$S(k) = R_N(k) \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} kn\right). \quad (2.17)$$

Z výpočetního hlediska je výraz $R_N(k)$ ve vztahu prakticky nadbytečný, a proto se v literatuře často vynechává. To ale může vést k mylnému dojmu, že obraz DFT je periodický.

Zpětnou DFT vypočítáme ze vztahu

$$s(n) = R_N(k) \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \exp\left(j \frac{2\pi}{N} nk\right), \quad (2.18)$$

kde je opět často vynechávána okénková posloupnost $R_N(k)$ [19].

Rychlá Fourierova transformace

Hlavní rozvoj DFT nastal po roce 1965, kdy pánové J.W. Cooley a J.W. Tukey objevili velmi efektivní algoritmus výpočtu DFT a ten nazvali rychlá Fourierova transformace (Fast Fourier Transform, FFT). Tento způsob výpočtu DFT měl velký ohlas a díky tomu se dostala diskretní Fourierova transformace do praktického užití a dovolovala zpracovávání signálů v reálném čase. Je dobré si uvědomit, že ve všech případech se jedná pouze o efektivní výpočet DFT a tudíž označení FFT vyjadřuje pouze rychlost zpracování a ne nový typ transformace.

Algoritmus FFT vyžaduje N paměťových míst pro reálnou posloupnost a $2N$ pro komplexní posloupnost. Využívá se Eulerova vztahu, kdy můžeme zapsat, že

$$e^{jx} = \cos x + j \sin x, \text{ pro } x \in R. \quad (2.19)$$

Tímto zápisem se stane komplexní exponenciální funkce funkcí periodickou. Je velmi vhodné předem zajistit, aby posloupnost délky N měla sudý počet členů. Potom se posloupnost dělí dvěma a vzniknou dvě posloupnosti – sudá a lichá. Obě dvě mají svou DFT. Díky tomu bude pracnost výpočtu DFT téměř o 50% menší.

Pokud bude mít posloupnost délku $N = 2^m$, kde m bude číslo celé, tak rozklad lze provést úplně až do posledního stupně a vzniknou posloupnosti délky 2 a m úrovní rozkladu. Počet stupňů algoritmu je tedy

$$m = \log_2 N. \quad (2.20)$$

Počet součinů pro výpočet DFT je N^2 . Úsporu výpočtu FFT lze spočítat pomocí činitele

$$\alpha_m = \frac{N^2}{m \cdot \frac{N}{2}} = \frac{2N}{\log_2 N}. \quad (2.21)$$

Například pro $N = 4$ je úspora

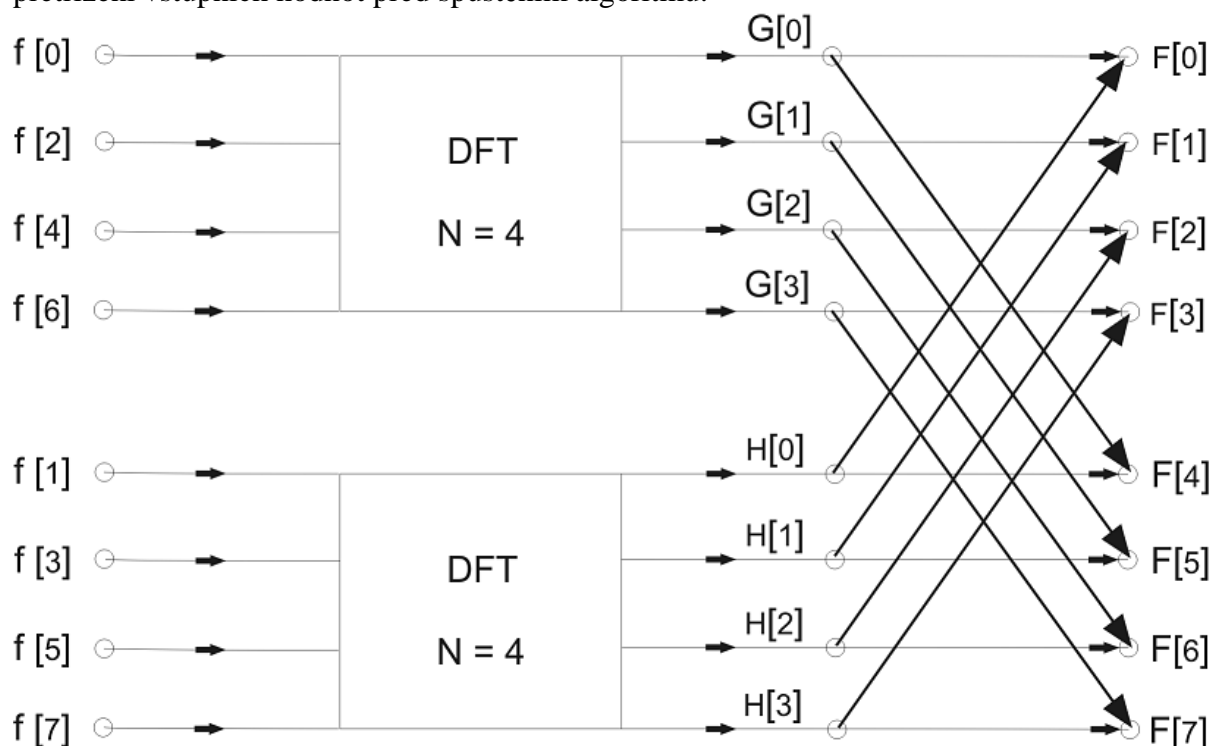
$$\alpha_5 = \frac{2 \cdot 4}{\log_2 4} = 4. \quad (2.22)$$

Čím víc prvků bude mít posloupnost N , například $N = 1024$, pak bude činitel mnohem vyšší a to

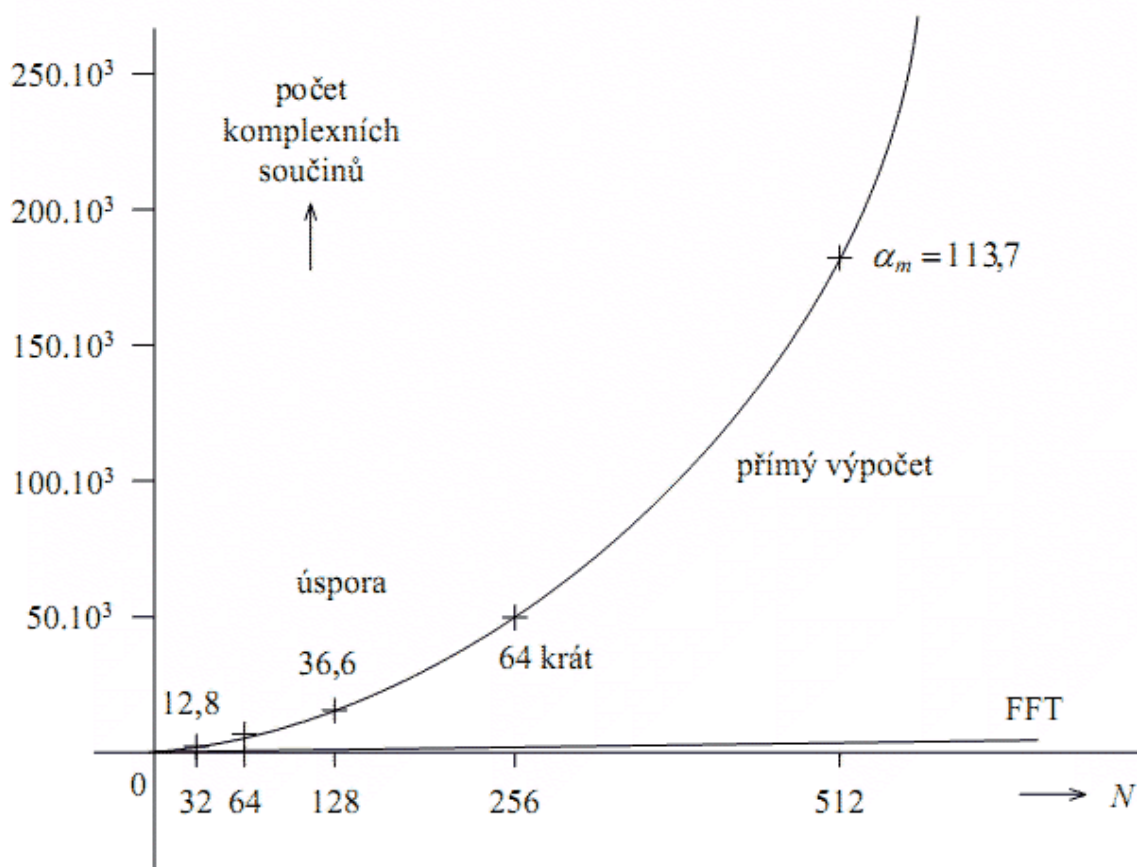
$$\alpha_{10} = \frac{2 \cdot 1024}{\log_2 1024} = 204,8, \quad (2.23)$$

což už znamená velkou úsporu výpočtu [19].

Algoritmus FFT má tu vlastnost, že vstupy posloupností musí být v tzv. bitově reverzním pořadí, abychom dostali výstupní posloupnost v přirozeném pořadí. To vyžaduje přetřídění vstupních hodnot před spuštěním algoritmu.



Obr. 21: Postup výpočtu algoritmu DFT pro délku posloupnosti $N = 4$



Obr. 22: Grafická závislost počtu komplexních součinů na délce posloupnosti N [19]

2.2.6 LED

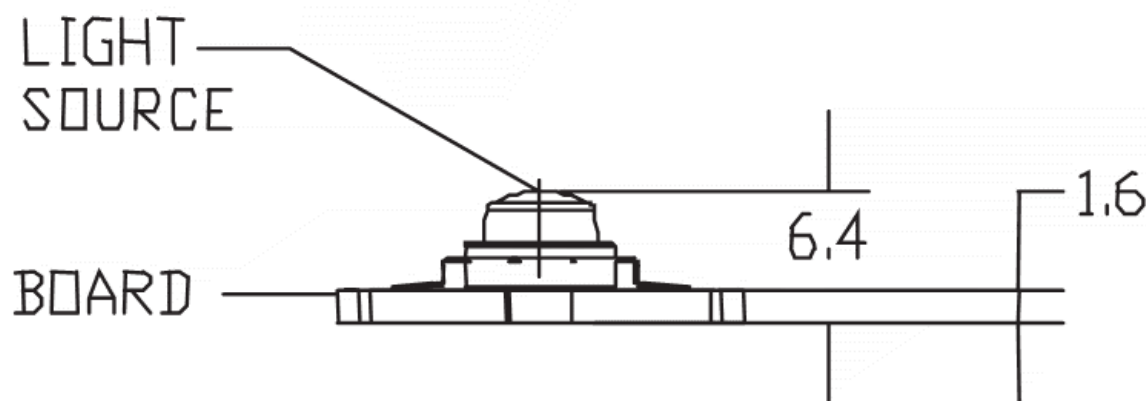
Světlo-vyzařující dioda (LED, Light-Emitting Diode) je elektronická součástka obsahující přechod P-N. LED jsou vyráběny v barvách spektra, a proto nelze přímo emitovat bílé světlo, které vzniká z barevných spekter. Proto pravé bílé LED využívají luminoforu. LED na rozdíl od žárovek, u kterých nezáleží na polaritě napájecího napětí, musí být zapojeny ve správné polaritě. Když je LED zapojena v propustném směru, prochází jí proud a svítí. V opačném případě, v závěrném směru, LED nesvítí a proud jí neprochází.

LED jsou výhodné z hlediska cenové dostupnosti, a taky proto, že pracují s poměrně malými hodnotami napětí a proudu vztaheného k jejich světelnému výkonu. Produkuje více světla na watt než obyčejné žárovky, jsou odolné vůči nárazům a ideální pro použití v zařízeních, kde dochází k častému vypínání a zapínání zařízení.

Pro potřebu návrhu bude užita LED, která bude mít za úkol osvětlovat hlasivky ve frekvencích 70-500 Hz, případně 70-1 000 Hz. Z hlediska výkonu je vhodná vysoce svítivá LED firmy Luxeon. Jedná se o řadu Luxeon Star/O a typ LXHL - MWEC. Její běžné použití je v kapesních svítilnách. Nachází se v různých výkonových řadách a barevných provedeních.

Technické parametry LXHL - MWEC:

Světelný tok	45 lm
Maximální ss proud	350 mA
Napětí v propustném směru	3,42 V
Barva	bílá 5500 K
Váha	5,5 g



Obr. 23: LED firmy Luxeon

3 Experimentální ověření funkčních bloků

V této části kapitoly bude nastíněno jak by mohla vypadat funkční realizace stroboskopického zdroje světla řízená hlasem. Prostřednictvím firmy MERTEN byla zapůjčena vývojová deska s mikroprocesorem MSP 430, jehož popis je v kapitole 2. Vývojová deska obsahuje všechny potřebné periferie pro práci s „okolním světem“.

Vývojová deska obsahuje:

- mikrokontrolér MSP430 s taktem 4 MHz
- UART – univerzální asynchronní přijímač/vysílač
- čtveřici LED a čtveřici tlačítek
- pájivé pole pro osazení součástek

Komunikace s PC je umožněna přes LPT port počítače, ke kterému je připojen JTAG (Obr.21) na jedné straně s koncovkou pro LPT a na druhé straně konektorem pro připojení k desce mikrokontroléru.

MSP430-JTAG

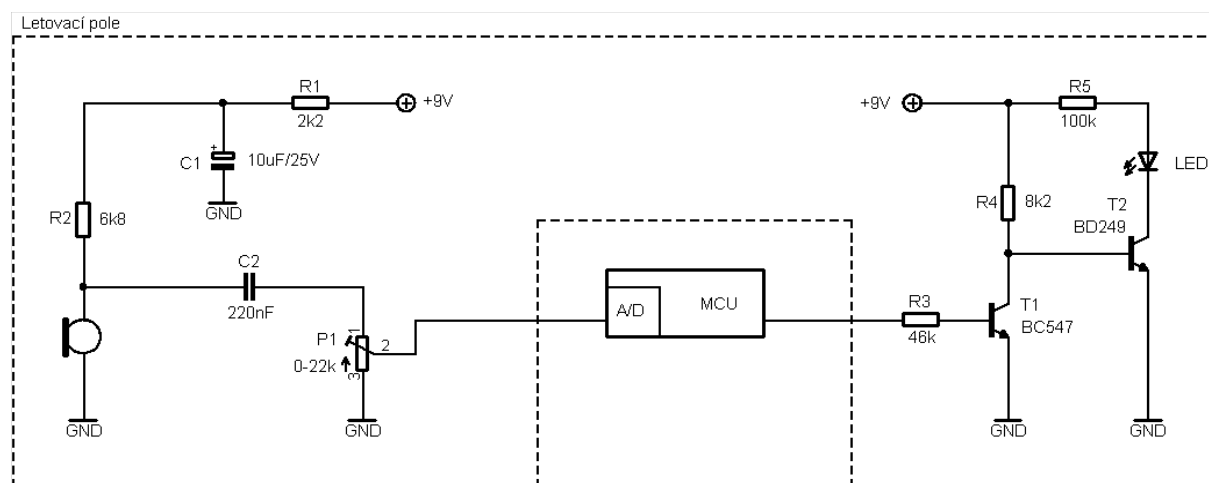
TDO	1	2	VCC_IN
TDI	3	4	VCC_OUT
TMS	5	6	NC
TCK	7	8	TEST/VPP
GND	9	10	NC
RST/NMI	11	12	NC
NC	13	14	NC



Obr. 24: JTAG pro MSP 430

JTAG (Joint Test Action Group) je standard definovaný normou IEEE 1149.1. Umožňuje komunikovat s mikrokontrolérem během ladění a výkon programu lze krokovat přímo na čipu.

Inspirací pro ověření funkce stroboskopu řízeného MCU byl článek uveřejněný v Praktické elektronice A Radio 01/2005 od Martina Brože [17]. Z tohoto obvodu byla použita výkonová část, která byla lehce modifikována.



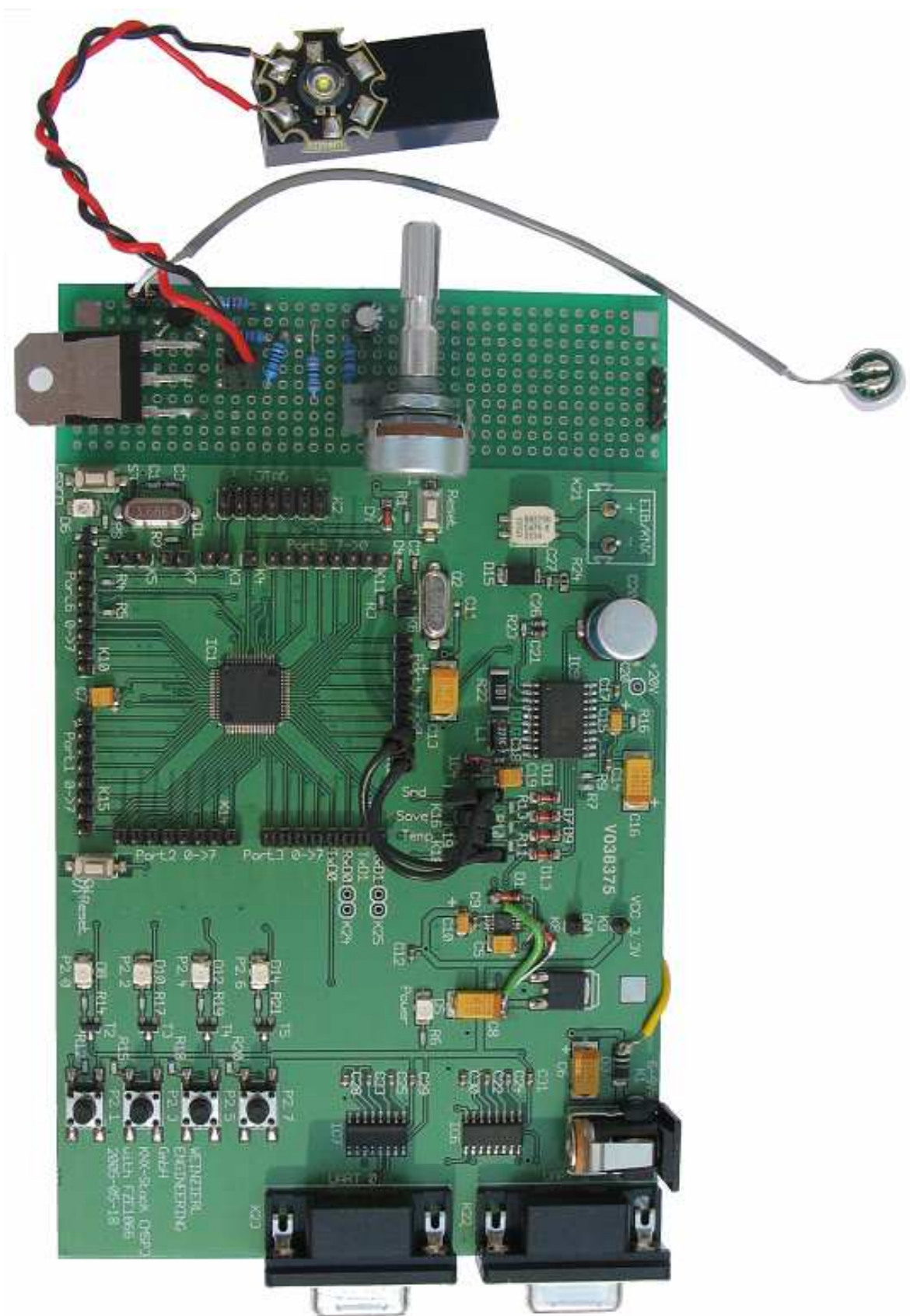
Obr. 25: Celkové schéma LED stroboskopu řízeného hlasem

Obvod je napájen 9V. Napájení může být realizováno pomocí stabilizovaného DC-DC měniče. Na vstupu obvodu je zapojen předřadný odpor R1 a kondenzátor C1, který slouží pro filtraci napájecího napětí. Za mikrofonom se nachází CR článek horní propust, který slouží pro filtraci nízkých kmitočtů. Signál je přiveden k A/D převodníku integrovaného v mikrokontroléru pro další zpracování. Z výstupu MCU je signál veden přes odpor R3 do báze T1, který ho neguje, tj. pokud bude otevřen tranzistor T1. Napětí, které se dostává v normálním stavu přes R4 na bázi tranzistoru T2, bude svedeno přes kolektor-emitor tranzistoru T1 na zem a tranzistor T2 bude uzavřený. Pokud je ovšem zavřen tranzistor T1, proud protékající rezistorem R4 otevře tranzistor T2. Elektrický okruh se uzavře, čímž se rozsvítí LED [17]. Odpor R5 slouží jako proudová ochrana LED.

Konkrétní realizace zpracování signálu z mikrofonu pro řízení LED zde již není řešena. Funkce řízení LED mikrokontrolérem je však ověřena jednoduchým programem, kdy jedním tlačítkem na vývojové desce zvedáme kmitočet blikání LED a druhým tlačítkem kmitočet snižujeme.

Seznam součástek:

Schematická značka	Typ – označení
R1	2k2
R2	6k8
R3	48k
R4	8k2
R5	100k
P1	0-22k
mikrofon	elektretový mikrofon, 50 Hz-16 kHz, 3V
C1	10uF/25V
C2	220nF
T1	BC547
T2	BD249
LED	LUXEON Star, LXHL – MVEC, 1W
MCU	MSP 430, Texas Instrument, 4MHz



Obr. 26: Zapojení obvodu na vývojové desce

4 Závěr

První část této práce popisuje fyziologii hrtanu a hlasivek, které jsou klíčové pro tvorbu lidského hlasu. Jsou zde popsány nejběžnější způsoby klinických vyšetření včetně pokročilých vyšetřovacích metod, využívajících moderní techniku pro vizualizaci pohybu hlasivek. Je zde popsán princip videolaryngostroboskopie, jakožto dnešní nejvýznamnější vyšetřovací metody. Ta využívá stroboskopický zdroj světla pro osvětlení rychle kmitajících hlasivek, které pak můžeme vidět jako zastavené, či zpomaleně kmitající.

Druhá část pojednává o systémovém návrhu zařízení, pomocí něhož by mohly být hlasivky osvětlovány při jejich periodickém pohybu. Jsou zde uvedeny základní funkční bloky, ze kterých by se zařízení dalo realizovat, je vysvětlena jejich funkce a uvedeny konkrétní typy bloků.

Třetí část práce se zabývá realizací zařízení a ověřuje systémový návrh. Pomocí obvodu realizovaného na vývojové desce byla ověřena funkce navrhnutého blokového schématu ze druhé části práce. Je zde vyřešena výkonová část obvodu s vysoce svítivou LED. Funkce řízení LED mikrokontrolérem je ověřena jednoduchým programem, kdy tlačítka ovládáme rychlost blikání diody. Jen z části je vyřešen obvod, kdy se snímá pacientův hlas. Částečně proto, že snímaný signál není natolik silný, aby dosahoval na vstupu A/D převodníku žádaných hodnot.

Dalším možným pokračováním této práce by mohl být návrh speech procesoru, který umožňuje nepřekročit výstupní amplitudu, ať už mluvíme do mikrofону sebehlasitěji či z bezprostřední blízkosti a také návrh vhodného nízkošumového zesilovače pro akustické signály, který by umožnil zesílit vstupní signál z mikrofону na požadovanou mez. Dále práce vybízí k číslicovému zpracování přijatých akustických dat pomocí zapůjčené desky s mikrokontrolérem MSP 430 algoritmem FFT, který byl v práci vysvětlen. Ověřilo by se, jestli je mikrokontrolér dostatečně výkonný pro zpracování signálu v reálném čase s přesným určením frekvence, kterou by se osvětlovaly kmitající se hlasivky.

Literatura

- [1] HAHN, A. a kol. : *Otorinolaryngologie a foniatrie v současné praxi*, Grada-Avicenum, Praha, 2007
- [2] HYBÁŠEK, I. VOKURKA, J. : *Otorinolaryngologie*, Karolinum, Praha, 2006
- [3] *Anatomie člověka*, Fragment, Havlíčkův Brod, 2005
- [4] *Lidské tělo*, Fortuna Print, Praha, 2000
- [5] ČIHÁK R., *Anatomie I*, Avicenum, Praha 1987
- [6] <http://www.elektrorevue.com>
- [7] <http://www.kayelemetrics.com>
- [8] <http://www.atmosmed.de>
- [9] <http://kp.biovendor.cz>
- [10] <http://www.sacent.com>
- [11] <http://www.orl.cz>
- [12] <http://biomech.ftvs.cuni.cz/abstbiom/abstrakt/svec.htm>
- [13] Manuál mikrokontroléru MSP430. Dostupné na WWW: <http://www.ti.com>
- [14] KRATOCHVÍL, T. , *přednášky předmětu BNFE*, 2005/2006
- [15] <http://en.wikipedia.org> , <http://cs.wikipedia.org>
- [16] Internetové obchody GME Česko, GES-ELECTRONICS, EZK, FLAJZAR s.r.o.
- [17] BROŽ, M.: Led stroboskop, Praktická elektronika A Radio 01/2005
- [18] MELKES, F. ŘEZÁČ, M.: *Matematika 2*, VUT, Brno 2006
- [19] ŠEBESTA, V. SMÉKAL, Z.: *Signály a soustavy*, VUT, Brno 2006